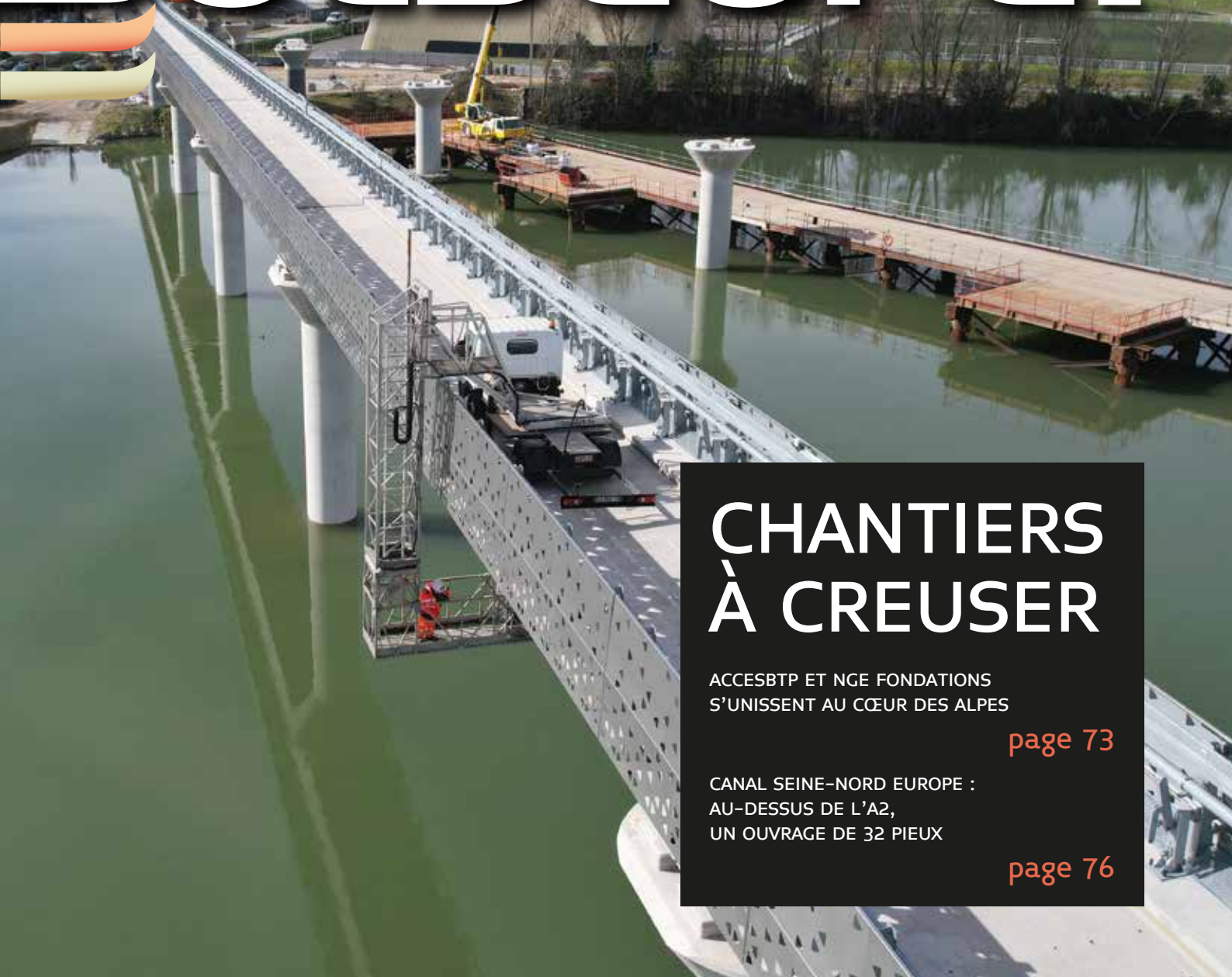
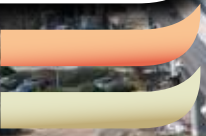


g é o t e c h n i q u e , f o r a g e e t f o n d a t i o n s

# SOLSCOPE

MAIS



## CHANTIERS À CREUSER

ACCESBTP ET NGE FONDATIONS  
S'UNISSENT AU CŒUR DES ALPES

page 73

CANAL SEINE-NORD EUROPE :  
AU-DESSUS DE L'A2,  
UN OUVRAGE DE 32 PIEUX

page 76

## DOSSIER MÉTRO DE TOULOUSE

PAGE 14



### ACTUALITÉS

Nouvel ouvrage  
de l'Agap Qualité

page 6

### NORMALISATION

Certification forage  
sur nappe

page 12

# Connexion ligne B du métro de Toulouse — Lot 02 : un dispositif d'auscultation conçu pour maîtriser un passage sensible sous le canal du Midi

**Le projet de connexion ligne B (CLB) du métro de Toulouse s'inscrit dans une dynamique globale de développement et de modernisation du réseau de transports de l'agglomération toulousaine, en lien étroit avec la réalisation de la future troisième ligne de métro (ligne C). Cette opération structurante vise à renforcer l'intermodalité et à améliorer la desserte du sud-est toulousain, tout en assurant la continuité d'exploitation du réseau existant.**

## LE PROJET

D'une longueur totale d'environ 2,7 km entre Ramonville-Saint-Agne et la future station terminus Labège-Madron, le tracé comprend une succession de sections aériennes, un viaduc de plus de 2 km et une zone souterraine particulièrement sensible d'environ 470 m. Le lot 02, placé sous la maîtrise d'ouvrage de Tisseo Ingénierie et sous la maîtrise d'œuvre du groupement Arcadis / Systra / Séquences / OTCE, concentre les principaux enjeux techniques du projet. Les travaux ont été confiés au groupement d'entreprises Bessac – GTM Sud-Ouest TP GC – Soletanche-Bachy.

Ce lot comprend notamment la réalisation de deux ouvrages de transition situés à la station de métro ligne B et au parc technologique de Ramonville, des traitements de terrains spécifiques sous le canal du Midi, ainsi que le creusement d'un tunnel bitube de 260 m de longueur réalisé au tunnelier. Le

franchissement du canal du Midi, classé au patrimoine mondial de l'Unesco, constitue l'un des points les plus sensibles du tracé en raison des contraintes patrimoniales, environnementales et géotechniques fortes qui y sont associées.

## UN DISPOSITIF D'AUSCULTATION ÉTENDU ET ADAPTÉ À LA DIVERSITÉ DES ENVIRONNEMENTS

Dans ce contexte contraint, l'auscultation a été considérée dès l'amont du projet comme un levier essentiel de maîtrise des risques, bien au-delà d'une simple obligation réglementaire. La mission d'instrumentation et de suivi a été confiée à Sixense Monitoring, avec pour objectif de mettre en place un dispositif robuste, évolutif et capable d'accompagner le chantier dans l'ensemble de ses phases critiques.

La diversité des environnements traversés, tels que les berges du canal du Midi, voiries structurantes, cadres hydrauliques, réseaux sensibles et ouvrages existants en exploitation, a conduit à déployer une instrumentation étendue et multicapteurs.

Le programme d'auscultation a notamment intégré le suivi des nuisances sonores et vibratoires au moyen de capteurs acoustiques et vibratoires installés sur des avoisinants sensibles. Ce dispositif a été complété par un suivi des émissions de particules fines, grâce à des capteurs dédiés positionnés en périphérie des emprises chantier des ouvrages de transition.

Par ailleurs, le suivi des déplacements et des déformations des ouvrages a reposé sur plusieurs techniques complémentaires. Les parois moulées des ouvrages de transition ont fait l'objet de mesures topographiques manuelles et de mesures inclinométriques, permettant un contrôle précis de leurs comportements lors des phases de terrassement et de soutènement. Afin de suivre des mouvements potentiels, des campagnes de topographie manuelle ont également été réalisées dans des zones particulières, telles que l'arrière-gare de Ramonville, en exploitation lors des travaux, où sont stationnées les rames de métro la nuit.

Éléments centraux du dispositif, plusieurs stations totales automatisées (solution Cyclops de Sixense Monitoring) ont été mises en œuvre afin d'assurer un suivi topographique automatisé et continu des avoisinants compris dans la zone d'influence géotechnique du tunnelier. Ce suivi en 3 dimensions (XYZ) a permis une surveillance continue des berges du canal du Midi, des culées de l'ouvrage de franchissement, des voiries alentour – notamment les avenues de l'Europe et Pierre-Georges-Latécoère – ainsi que des conduites GRT Gaz implantées à proximité du tracé. La précision de mesure submillimétrique, la fréquence horaire et la densité de points surveillés permettent d'analyser très finement les mouvements éventuels. ●●●



L'un des systèmes Cyclops déployés.

© Sixense Monitoring

•••

### PASSAGE SOUS LE CANAL DU MIDI : UNE PHASE CRITIQUE SÉCURISÉE

L'un des enjeux techniques majeurs du projet portait sur le suivi des tassements de l'ouvrage hydraulique de type collecteur d'eau pluviale (cadre EP) situé sous le canal du Midi, durant les phases de renforcement des sols par injection et lors du creusement du tunnel au tunnellier. En raison du caractère patrimonial du site (protection des platanes) et des contraintes importantes pesant sur le chemin de halage, avec notamment le maintien de la rive droite accessible au public, le recours à une multiplication de forages ou à la mise en place d'instrumentations lourdes en surface n'était pas envisageable.

Nous avons proposé une solution alternative reposant sur l'installation, à l'intérieur même du cadre EP du réseau à surveiller, d'une chaîne inclinométrique horizontale continue de type 4DShape. Cette technologie totalement étanche et particulièrement robuste permet une mesure continue et en temps réel des déformations de l'ouvrage hydraulique, avec une précision submillimétrique, même si l'ouvrage est en charge pendant les épisodes de fortes pluies.

Cette approche innovante s'est imposée comme une solution techniquement plus pertinente que les dispositifs d'instrumentation verticale initialement envisagés au stade des études (mesures par extensomètres multipoints en forage, tiges de nivellements). Elle a permis de garantir une cohérence optimale entre les données de déformation mesurées et les différentes phases des travaux, mais aussi de limiter l'empreinte environnementale des travaux et de réduire les nuisances pour le public.

Le pilotage qu'offre cette solution a ainsi constitué un appui déterminant pour l'adaptation en temps réel des paramètres d'injection puis de pilotage du tunnellier. Les déformations mesurées sont restées largement inférieures aux seuils admissibles, confirmant la pertinence des hypothèses de dimensionnement et des méthodes mises en œuvre.

### CENTRALISATION DES DONNÉES ET EXPLOITATION OPÉRATIONNELLE

L'ensemble des données issues de l'instrumentation a été centralisé sur la plateforme logicielle de monitoring de Sixense, Beyond Monitoring, utilisée comme véritable outil de pilotage technique du chantier. Elle a permis une visualisation en temps réel des mesures,



**Travaux d'injections sous le canal du Midi.**

la mise en place de seuils d'alerte adaptés aux enjeux du projet et une diffusion ciblée de l'information auprès des différents acteurs.

La performance et la souplesse d'utilisation ont été particulièrement appréciées par les différents acteurs du projet. Des interfaces différenciées ont été configurées selon les profils utilisateurs, permettant à chacun d'accéder aux données pertinentes pour son périmètre, tout en évitant une surcharge d'informations non nécessaires.

### GESTION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ET ACCEPTABILITÉ DU CHANTIER

Au-delà du pilotage technique, l'auscultation a joué un rôle central dans la gestion des risques vis-à-vis des tiers. Le suivi continu des nuisances sonores, vibratoires et des émissions de particules fines a fourni des données objectives, comparables aux seuils réglementaires et contractuels définis en amont du projet.

Ces éléments ont permis de démontrer de manière factuelle l'impact maîtrisé du chantier sur son environnement. Aucun contentieux n'a été enregistré avec les riverains, les exploitants de réseaux ou les autorités locales, renforçant l'acceptabilité globale du projet et la sérénité des opérations.

### CONCLUSION : UNE AUSCULTATION RÉFLÉCHIE ET INTÉGRÉE À LA PERFORMANCE DU PROJET

Le dispositif mis en œuvre sur le lot 02 de la connexion ligne B illustre pleinement

l'intérêt d'une auscultation conçue comme un véritable outil de pilotage et de dialogue. Au-delà de la simple multiplication des mesures, le projet a mis l'accent sur la justesse, la fiabilité et l'utilité des données acquises, afin que l'auscultation s'inscrive de manière efficace dans le processus décisionnel. Ainsi intégrée, elle a contribué à sécuriser les phases les plus sensibles du chantier, à optimiser les méthodes constructives et à garantir la maîtrise des impacts environnementaux et structurels.

Ce projet met en évidence la valeur ajoutée de dispositifs de mesures, manuels et automatisés, ainsi que de plateformes numériques de suivi des données, à condition que les paramètres suivis soient précisément adaptés aux enjeux de l'ouvrage. Sur ce chantier, l'auscultation s'est imposée comme un levier essentiel pour la performance globale du projet. Elle démontre tout le bénéfice d'une approche méthodologique fondée sur des mesures de monitoring, lorsque celles-ci sont ciblées, fiables et utiles, et montre qu'une telle démarche est transposable à d'autres projets complexes situés dans des environnements contraints et présentant des enjeux patrimoniaux majeurs. Cette réussite a été rendue possible par le dialogue technique entre les ingénieurs de la maîtrise d'œuvre, de l'entreprise générale et de l'entreprise d'auscultation. Les trois parties ont su discuter de modifications pertinentes au cahier des charges initiales pour rendre les auscultations utiles au chantier. ■

**Matthieu Vareille**

Responsable d'agence Sud-Ouest  
Sixense Monitoring

# Inspection détaillée des viaducs pour la connexion de la ligne B

**Dans le cadre du prolongement et de la mise en service de la connexion ligne B (CLB) du métro de Toulouse, Sixense est intervenue en février et mars 2025 pour réaliser une inspection détaillée initiale (IDI) sur une première section du viaduc, entre Ramonville et Labège. Découvrez comment l'inspection initiale réalisée par l'entreprise a accompagné la sécurisation et la mise en service des ouvrages.**

Menée à la demande du groupement travaux en charge du lot 1 - génie civil des viaducs, cette intervention s'inscrit dans une phase-clé du projet, marquant la transition progressive entre les travaux et l'exploitation future de la ligne.

L'objectif de cette inspection était de contribuer à la sécurisation de la future infrastructure et de constituer des référentiels techniques fiables, destinés à accompagner l'exploitation et la maintenance des ouvrages dans la durée. Sixense est intervenue sur ce périmètre pour conduire l'inspection et structurer les livrables associés, en coordination étroite avec les équipes du chantier.

## UN OUVRAGE AÉRIEN AUX CARACTÉRISTIQUES MULTIPLES

La connexion ligne B du métro de Toulouse se développe sur un linéaire majoritairement aérien, représentant environ 2,2 km de viaducs. Elle assure la continuité entre l'ancien terminus de Ramonville et les nouvelles sections, tout en intégrant un raccordement avec un tunnel creusé sous le canal du Midi.

Cette configuration impose une grande diversité d'ouvrages et de situations,

avec des franchissements d'infrastructures majeures (autoroutes, voies départementales, zones hydrauliques, plans d'eau) et la coexistence de plusieurs typologies structurelles. Le projet combine en effet des tabliers en caisson de béton précontraint, d'abord en voie double puis en voie unique, ainsi que des tronçons mixtes acierbéton pour certains franchissements spécifiques.

Dans ce contexte, Sixense est également intervenue sur d'autres composantes du projet, notamment pour des inspections détaillées initiales de tunnels et de structures en béton armé au niveau des têtes.

## INSPECTER POUR PRÉPARER LA MISE EN SERVICE

L'inspection détaillée initiale réalisée par Sixense visait à établir l'état de référence des zones de l'ouvrage alors accessibles, en amont de la mise en service commerciale de la ligne.

Elle répondait à un double objectif : documenter de manière exhaustive l'état apparent des structures afin de disposer d'un « état zéro » fiable, et sécuriser la transition entre la phase chantier et la phase exploitation en fournissant au

maître d'ouvrage et aux entreprises un socle technique commun, structuré et réutilisable dans le temps.

Le périmètre de cette première phase d'intervention portait sur 9 travées du caisson en béton précontraint, identifiées de P38 à P47 (ouvrages d'art courants), ainsi que sur 3 travées du tronçon mixte acier-béton, référencées TR32, TR34 et TR36 (ouvrages d'art particuliers). Les inspections ont concerné l'ensemble des éléments de génie civil accessibles à ce stade du chantier, incluant les tabliers, appuis, piles et équipements associés, à l'exclusion des parties hors génie civil.

## UNE ORGANISATION RIGOREUSE DE L'INSPECTION DÉTAILLÉE INITIALE

L'intervention s'est déroulée selon une organisation structurée en 3 grandes étapes. En phase de pré-ingénierie, entre J30 et J1, les équipes Sixense ont procédé à une lecture croisée des plans d'exécution, du phasage chantier et des méthodes de construction mises en œuvre, qu'il s'agisse du lançage, de la préfabrication ou des opérations de conjugaison. Cette analyse a permis d'élaborer un plan d'inspection adapté à chaque typologie d'ouvrage, intégrant les contraintes d'accès et de sécurité, et de coordonner précisément l'intervention avec le planning général des entreprises.

La phase terrain, répartie sur 4 jours, s'est déroulée en deux temps : les deux premières journées, fin février 2025, ont été consacrées à l'inspection des piles, des extrados et des intrados des caissons, en combinant l'utilisation de la nacelle négative, du drone et des accès pédestres ; les deux journées suivantes, mimars, ont porté sur l'inspection de l'intérieur des caissons, avec une attention particulière portée aux liaisons internes, aux âmes, aux goussets, aux hourdis et aux entretoises.

Enfin, la phase de post-traitement, menée entre J+1 et J+15, a consisté à classer et géoréférencer l'ensemble des



© Laurent Barranco

observations, à consolider l'état de référence par zone et à produire une synthèse destinée au maître d'ouvrage et aux entreprises. Cette synthèse, volontairement factuelle et sans jugement de valeur public, constitue un outil d'aide à la planification des actions futures, qu'il s'agisse de maintenance courante ou de vérifications ultérieures.

### **ACCESSIBILITÉ, ET CO-ACTIVITÉ : DES DÉFIS TECHNIQUES RELEVÉS AVEC SUCCÈS**

La réalisation de l'inspection détaillée initiale sur les viaducs de la CLB a nécessité de relever plusieurs défis techniques, liés à la fois à l'accessibilité des ouvrages, à leur géométrie et à la coactivité sur le chantier.

L'accès aux différentes zones à inspecter a constitué un enjeu central de la mission. Les surfaces extérieures des tabliers, les intrados, les entretoises ainsi que les zones hautes des piles et les appareils d'appuis ont été inspectés à l'aide d'une passerelle négative, permettant un accès sécurisé sous ouvrage. Les parties basses et intermédiaires des piles, notamment dans des zones difficiles d'accès ou situées audessus de plans d'eau, ont quant à elles été contrôlées par drone. Ce dernier était piloté par un opérateur Sixense spécifiquement formé et habilité, garantissant la qualité des observations tout en limitant les contraintes d'intervention.

À ces problématiques d'accès s'ajoutaient des contraintes géométriques importantes. Si les dimensions des viaducs sont impressionnantes vues de l'extérieur, l'intérieur des caissons présente des volumes particulièrement réduits, avec une hauteur d'environ 1,50 m. Les inspections pédestres à l'intérieur des tabliers ont donc nécessité une préparation minutieuse, tant en matière d'éclairage que d'ergonomie et de sécurité, afin de préserver la santé des intervenants tout en assurant un niveau d'observation conforme aux exigences d'une IDI.

Enfin, l'intervention s'est déroulée dans un contexte de coactivité soutenue. La phase d'inspection est intervenue après la réalisation de l'étanchéité sur la portion concernée, alors que les bétons de voies n'étaient pas encore coulés mais que les armatures en attente étaient en place. Un passage millimétré a dû être étudié en amont pour garantir la possibilité de circulation de la passerelle sur l'ouvrage, en tenant compte des essieux et des hauteurs de bas de caisse. Par ailleurs, plusieurs entreprises étaient simultanément à l'œuvre entre le point

d'entrée de la passerelle, situé au niveau de la rampe d'accès et de la connexion au tunnel CLB, et la zone de viaduc à inspecter. Une organisation spécifique, fondée sur des échanges constants avec les différents intervenants du chantier (joints, corniches, étanchéité, etc.), a permis de traverser ces zones de travaux tout en respectant les contraintes et le phasage de chacun.

### **DES MOYENS TECHNIQUES ET HUMAINS ADAPTÉS AUX ENJEUX**

Pour conduire cette inspection, des moyens techniques éprouvés ont été mobilisés afin de s'adapter à la diversité des situations rencontrées sur le terrain. La nacelle négative de type ABC60 a été utilisée pour les inspections d'intrados et d'entretoises au droit des piles, tandis que les inspections d'extrados et l'exploration de l'intérieur des caissons ont été réalisées en modes pédestres, avec un éclairage d'appoint spécifiquement dimensionné. Le recours au drone a permis de compléter efficacement ces dispositifs pour l'observation de l'enveloppe extérieure des piles et des zones les plus contraignantes.

Sur le plan méthodologique, l'intervention s'est appuyée sur une préparation en amont. Des planches techniques de relevés de désordres ont été élaborées au bureau, à partir des éléments du dossier d'ouvrage transmis par le groupement travaux. Ces documents intégraient une représentation détaillée de l'ensemble des surfaces à observer, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des structures, afin d'harmoniser les pratiques de relevé sur le terrain. Chaque inspection a donné lieu à un reportage photographique systématique en haute définition, garantissant la traçabilité et la comparabilité des observations dans le temps.

L'ensemble s'inscrit dans le cadre de la procédure interne « état zéro » de Sixense, qui vise à constituer un référentiel initial exploitable en phase de maintenance. Cette approche repose sur une structuration rigoureuse des jeux de données, un nommage normalisé et un classement par familles d'éléments, facilitant la réutilisation des informations lors des inspections ultérieures.

Les équipes mobilisées sur le terrain comptaient, selon les journées et les zones inspectées, entre 4 et 6 intervenants, organisés en binômes spécialisés, et complétés par un pilote de drone et un référent sécurité. L'ensemble de la mission était placé sous la responsabilité d'un chef de projet, assisté d'un vérificateur interne, garantissant la cohérence et la qualité technique des livrables.

### **DES BÉNÉFICES CONCRETS POUR LA MAÎTRISE D'OUVRAGE ET LES ENTREPRISES**

L'inspection détaillée initiale réalisée par Sixense apporte des bénéfices tangibles à l'ensemble des acteurs du projet. Elle permet en premier lieu de sécuriser le passage du chantier à l'exploitation, grâce à un dossier d'état initial propre, structuré et directement réutilisable comme référence lors des inspections futures.

Elle constitue également un gain de temps significatif pour la maintenance, en proposant une hiérarchisation claire des familles d'observations par zone (tabliers, appuis, interfaces ou équipements de génie civil) et en préparant les futurs parcours d'inspection et leurs priorités.

La qualité et la traçabilité des données produites, fondées sur des photographies haute définition indexées et des planches de repérage précises, garantissent une comparabilité dans le temps, notamment avant et après mise en service. Enfin, l'organisation fine de l'intervention et son phasage avec les autres entreprises ont contribué à fluidifier la coactivité sur le chantier, en limitant les immobilisations d'accès et les reprises inutiles.

### **UNE INTERVENTION REPRÉSENTATIVE DES ENJEUX D'INSPECTION EN PHASE DE MISE EN SERVICE**

Cette intervention illustre les enjeux auxquels sont confrontées les opérations d'inspection détaillée initiale sur des ouvrages neufs complexes, à l'interface entre chantier et exploitation. Elle met en évidence l'importance d'une ingénierie rigoureuse, de moyens d'accès adaptés et d'une coordination étroite avec l'ensemble des acteurs du projet.

Dans ce contexte, la contribution de Sixense s'inscrit dans une démarche visant à fournir aux maîtres d'ouvrage et aux exploitants des référentiels fiables et exploitables, au service de la sécurité, de la durabilité et de la performance des infrastructures de transport. ■

**Romain Petre**

*Directeur d'agence Sud-Ouest, bâtiment et infrastructure  
Sixense Engineering*

**Dorian Bruballa**

*Responsable de projet bâtiment et infrastructure  
Sixense Engineering*